

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la agricultura de regadío desempeña un papel importante en la economía mundial. Casi tres cuartas partes de la superficie de la tierra carecen de la humedad adecuada para una producción agrícola óptima. Las tierras áridas y semiáridas ocupan aproximadamente el 50% de la superficie terrestre y gran parte de los países en vías de desarrollo se sitúan en estas regiones.

En México, las regiones más áridas se localizan en el Norte del país; particularmente en el Noreste, donde la mayor parte de la agricultura se limita a valles fluviales y áreas cercanas alimentadas por pequeños canales de irrigación. En esta zona los suelos residuales son poco profundos, gravosos y con afloramientos rocosos, los cuales constituyen los acuíferos en medios granulares.

1.1 Antecedentes

En la región comprendida por los municipios de García en el Estado de Nuevo León y de Ramos Arízpe, en el Estado de Coahuila, se localiza la zona denominada Cuenca de Paredón-Icamole; es en esta zona donde es factible el desarrollo de proyectos agropecuarios, los cuales requieren del apoyo de las aguas subterráneas para su realización, razón por la cual es importante conocer la magnitud del potencial del recurso hidráulico subterráneo.

Son varios los trabajos que se han realizado en el noreste del país, de carácter geohidrológico, algunos de ellos por parte de la secretaría de Recursos Hidráulicos. Cabe mencionar los del Dr. Paul Waitz en 1947, el del Ing. Lorenzo Torres Izabal en 1953, los de los Ingenieros Luis de la Peña Porth y Benjamín Navarro G. en 1954, y el realizado por la compañía INSISA en 1972, denominado "Estudio Geohidrológico del Estado de Nuevo León", el cual contempla la explotación del agua subterránea para el abastecimiento del área metropolitana de la ciudad de Monterrey y para regadío en la región. Desde los inicios de los ochenta y hasta la fecha, la Universidad Autónoma de Nuevo León a través de las Facultades de Ingeniería Civil y de Ciencias de la Tierra ha venido desarrollando una serie de importantes trabajos enfocados a la explotación,

contaminación y aprovechamiento del agua subterránea. Cabe hacer notar que hay algunos otros trabajos realizados en este tema que no se mencionan pero que no por ello dejan de ser importantes.

En los trabajos mencionados, destaca la gran importancia que representa conocer los parámetros que rigen al agua subterránea, para tener un uso adecuado y una explotación equilibrada de la misma, lo que permita la apertura de nuevas zonas de riego, para eficientar e impulsar la agricultura en la región (antecedentes en el anexo A).

1.2 Objetivos:

1. Conocer el comportamiento hidráulico del acuífero a nivel regional.
2. Estimar la magnitud de explotación y recarga del acuífero.
3. Determinar qué volumen se puede extraer sin inducir efectos desfavorables en el almacenamiento del acuífero, en el caso de no estar sobreexplotado.
4. Conocer la calidad del agua del acuífero.
5. Plantear una configuración general del comportamiento hidráulico y geoquímico del acuífero.

1.3 Hipótesis

Mediante la aplicación de métodos y técnicas que integran los estudios de hidrología superficial (balance hidrológico), geoquímica, geología, geohidrología (balance de aguas subterráneas) y de calidad del agua subterránea, al acuífero granular alojado en la Cuenca de Paredón-Icamole, se determinará el coeficiente de escurrimiento que rige a la cuenca, el comportamiento hidráulico del flujo subterráneo (la dirección del flujo, los parámetros hidráulicos, los abatimientos medios anuales debidos a la extracción, la recarga del acuífero y la posible explotación del mismo) y la calidad del agua (clasificación del agua para uso potable y uso agrícola, considerando las normas oficiales mexicanas y las de organismos internacionales).

Los resultados obtenidos permitirán tener un mejor conocimiento del agua subterránea, para un aprovechamiento racional y ecológico de este recurso natural y para beneficio de la comunidad y la patria.

1.4 Generalidades

En la República Mexicana, la zona Noreste tiene una gran importancia en el desarrollo global del país, ya que dicha región, formada por los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, constituye una unidad económica muy completa. Para el desarrollo de las actividades principales que se practican en cada uno de estos Estados, ganadería, industria, agricultura y pesca, es de gran importancia el abastecimiento de agua, así como la creación de infraestructuras que permitan un mejor aprovechamiento de dicho recurso.

Nuevo León

El Estado de Nuevo León se localiza en la parte nororiental de la República Mexicana, dentro de las coordenadas 23° 6' a 27° 50' de latitud Norte y en los 98° 17' a 101° 07' de longitud Oeste. Limita al norte con el Estado de Coahuila, los Estados Unidos de América -en la angosta zona fronteriza de Colombia- y el estado de Tamaulipas. Hacia el poniente limita con Coahuila, San Luis Potosí y Zacatecas (en el vértice de los límites de los cuatro estados). Al Sur limita con San Luis Potosí y con Tamaulipas, con este último comparte todo su límite oriental. El Estado de Nuevo León se extiende de forma irregular más sobre su eje norte-sur (excede los 500 Km) que en el sentido este-oeste. Su superficie abarca 64 081.94 Km² (figura N° 1).

La división municipal del estado no ha sufrido grandes variaciones, pues desde 1940 hasta 1978 estuvo constituido por 52 municipios y sólo se registró el cambio de nombre del de Pesquería Chica por el de Pesquería. El primero de Enero de 1979 el municipio de Colombia se anexó al de Anáhuac, por lo que la entidad quedó integrada por 51 municipios. La ciudad de Monterrey es la capital del estado, la cual, en pocos años, ha experimentado un crecimiento poblacional e industrial acelerado, por lo cual se considera una de las tres ciudades más importantes del país e influye grandemente en el progreso de la región.

Las vías de comunicación, que incluyen carreteras, vías ferreas y aeropuertos con que cuenta el Estado, han jugado un papel importante en el desarrollo histórico de la entidad y siguen siendo vitales para el funcionamiento de la economía estatal.

En el estado se localizan tres de las grandes provincias fisiográficas del país. La Sierra Madre Oriental, que domina todo el panorama occidental y meridional del Estado y cuyas sierras alargadas de calizas están alternadas con los valles amplios, figura como una cordillera de cumbres muy abruptas. La Gran Llanura de Norteamérica, que comienza en Nuevo León y se extiende por toda la parte central de los Estados Unidos de América se caracteriza por los abundantes lomeríos suaves que dominan el paisaje en su porción nororiental, a lo largo de una amplia franja paralela al río Bravo. La Llanura Costera del Golfo Norte abarca las tierras más bajas de Nuevo León y que por su morfología de llanuras aluviales extensas, es la zona del Estado llamada "plano inclinado".

En Nuevo León predominan los climas semisecos extremosos. La distribución de los climas secos y semisecos se aprecia principalmente en la región nororiental, la cual forma parte de la Gran Llanura de Norteamérica. En áreas menores de la región de la sierra, en la zona del Centro y Sur de la entidad se registran los climas semicálidos, templados y semifríos. La precipitación pluvial, cuenta con regiones que registran lluvias anuales mayores de 800 mm, por ello es importante la creación de infraestructuras que permitan un mejor aprovechamiento del agua.

Coahuila

El Estado de Coahuila de Zaragoza ocupa la parte central de la franja de entidades continentales que hacen frontera, en el norte del país, con los Estados Unidos de América. Cuenta con una extensión territorial de 151, 578.37 Km², el 7.8 % del total nacional. Se localiza entre los 24° 32' 13" y los 29° 52'47" de latitud norte; y entre los 99° 50'30" y los 103° 57' 03" de longitud oeste. Limita al norte con los Estados Unidos, por el oriente con Nuevo León; por el sur con Zacatecas y en un vértice, al sureste de la entidad, con el estado de San Luis Potosí; por el suroeste colinda con Durango y por el poniente con Chihuahua (figura N° 1).

Desde 1940 hasta la fecha, el estado de Coahuila ha sido estable en su división municipal. Actualmente cuenta con 38 municipios. La ciudad de Saltillo es la capital de la entidad, en donde se concentra gran parte de la industria de la región, que es actualmente una de las principales actividades que mayor relevancia económica tiene Coahuila; también está la ciudad de Monclova, la cual destaca por la importancia de su industria siderúrgica. Hacia el suroeste se ubica Torreón, ciudad que es el centro de las

operaciones comerciales y financieras de las ciudades conurbadas de la Comarca Lagunera. Actualmente esta región posee gran importancia por su agricultura, además de otras actividades como la avicultura y la fabricación de herramientas agrícolas.

El Estado de Coahuila está bien integrado a la red caminera del país, pues la entidad se comunica con la ciudad de México a través de la carretera federal No. 57. Con el noroeste, por medio de la carretera Saltillo-Torreón; y con Monterrey, por dos vías, la de Saltillo y la de Monclova. También posee una buena comunicación hacia el exterior del país, tanto en la frontera coahuilense, a través de Piedras Negras y Ciudad Acuña; como por Nuevo Laredo y Reynosa, Tamaulipas. En el Estado, es grande la extracción de minerales pesados, por lo que la infraestructura de ferrocarriles es de vital importancia para su desarrollo. Los principales centros ferroviarios convergen en Saltillo, Torreón y Monclova. La comunicación aérea también juega un papel importante en el desarrollo de la entidad; sus principales centros de operación son Torreón y Saltillo.

En la entidad, componen el paisaje las sierras alargadas y los extensos bolsones, o llanuras desérticas; figuran en este estado tres provincias fisiográficas; buena parte de su territorio se encuentra en la provincia de Sierras y Llanuras del Norte. La Sierra Madre Oriental penetra al estado por el sureste en dos ramales que son: los Pliegues Saltillo-Parras y las Sierras Transversales. Finalmente, al noreste, se localizan los terrenos predominantemente llanos de la Gran Llanura Norteamericana.

El estado de Coahuila está situado, en su mayor parte, en el oriente de una gran área climática denominada desierto de Chihuahua o desierto del Norte de México. Esta región, que fisiográficamente abarca extensas áreas de la Sierra Madre Oriental y la totalidad de la provincia de las Sierras y Llanuras del Norte, se extiende desde las Sierras Transversales de la Sierra Madre Oriental por todo el centro y oeste de Coahuila. Se caracteriza por poseer climas continentales, secos y muy secos, que van desde los semicálidos, predominantes en los bolsones coahuilenses, hasta los templados de las partes más altas y las más septentrionales.

Coahuila es una identidad con terrenos fundamentalmente áridos: los climas secos que predominan sobre la mayor parte de su superficie, son un factor determinante de muchas características del medio físico y, consecuentemente, de la geografía humana. El clima seco, los suelos muchas veces salinos, la escasez de aguas superficiales y

subterráneas, han condicionado el establecimiento de las poblaciones y formas peculiares de aprovechamiento de las tierras, que van desde la minería y el pastoreo de caprinos hasta la agricultura de riego. El factor que limita el crecimiento y progreso de la entidad ha sido siempre el agua. Muchísimos terrenos llanos son aptos para la agricultura y la ganadería intensiva, los cuales fueron desiertos salinos y a través del riego pudo lograrse su aprovechamiento. En este sentido, mientras no se encuentren nuevas fuentes acuíferas su aprovechamiento será muy restringido.

1.5 Descripción General del Área de Estudio

Localización

La zona de estudio (Cuenca Paredón-Icamole) se encuentra localizada en un área comprendida entre los 25° 48' y 25° 57' de latitud Norte y los 100° 42' y 100° 55' de longitud Oeste, con una extensión aproximada de 171.30 km². Dicha zona queda dentro de la Región Hidrológica N° 24, denominada "Centro Norte Río Bravo", de la República Mexicana (plano N° 1).

Principales Localidades

Las principales localidades comprendidas dentro de la Cuenca de Paredón-Icamole son las rancherías de la Azufrosa, San Joaquín y las Cuatas, pertenecientes al municipio de Ramos Arízpe en el estado de Coahuila y la ranchería el Milagro en el municipio de García, Nuevo León; cabe señalar que el poblado de Paredón, se localiza al noroeste de la cuenca en estudio, en la entrada del escurrimiento del río Patos, hacia la misma y el poblado de Icamole en el sureste, a la salida del escurrimiento (cambiado a río Salinas) de la cuenca, el primero formando parte del municipio de Ramos Arízpe, Coahuila y el otro de García, Nuevo León.

Colindancias

La Cuenca de Paredón-Icamole, colinda hacia el poniente con el valle de Paredón, teniendo como parteaguas la sierra de la Azufrosa, la cual también define la colindancia en el lado sur, con el valle que forma la sierra de Chupaderos del Indio; en el

oriente limita con los cerros de la Cruz y el Coyote, en lado norte con las sierras el Maneadero y el Colorado.

Vías de comunicación

La cercanía del área de estudio con la ciudad de Monterrey, N. L., la cual cuenta con diversos medios de comunicación aéreos y terrestres la hacen de fácil acceso. En particular, la vía más rápida es a través de la carretera estatal N° 16, que une la ciudad de Monterrey con la población de Villa de García y de ahí continua hacia la localidad de Icamole, en el mismo municipio de García. El otro acceso es por medio de la carretera Federal N° 40, la cual une la ciudad de Monterrey con la de Ramos Arízpe, Coahuila; de ésta continua un camino vecinal pavimentado hacia la localidad de Paredón; ya dentro de la cuenca en estudio, las diferentes rancherías se comunican por medio de caminos de terracería, los cuales presentan cierta dificultad de tránsito en época de lluvias. Es importante señalar que el ferrocarril que enlaza las ciudades de Monterrey y Torreón atraviesa la cuenca de oriente a poniente, teniendo como estación de paso la localidad de Paredón, plano N° 1.

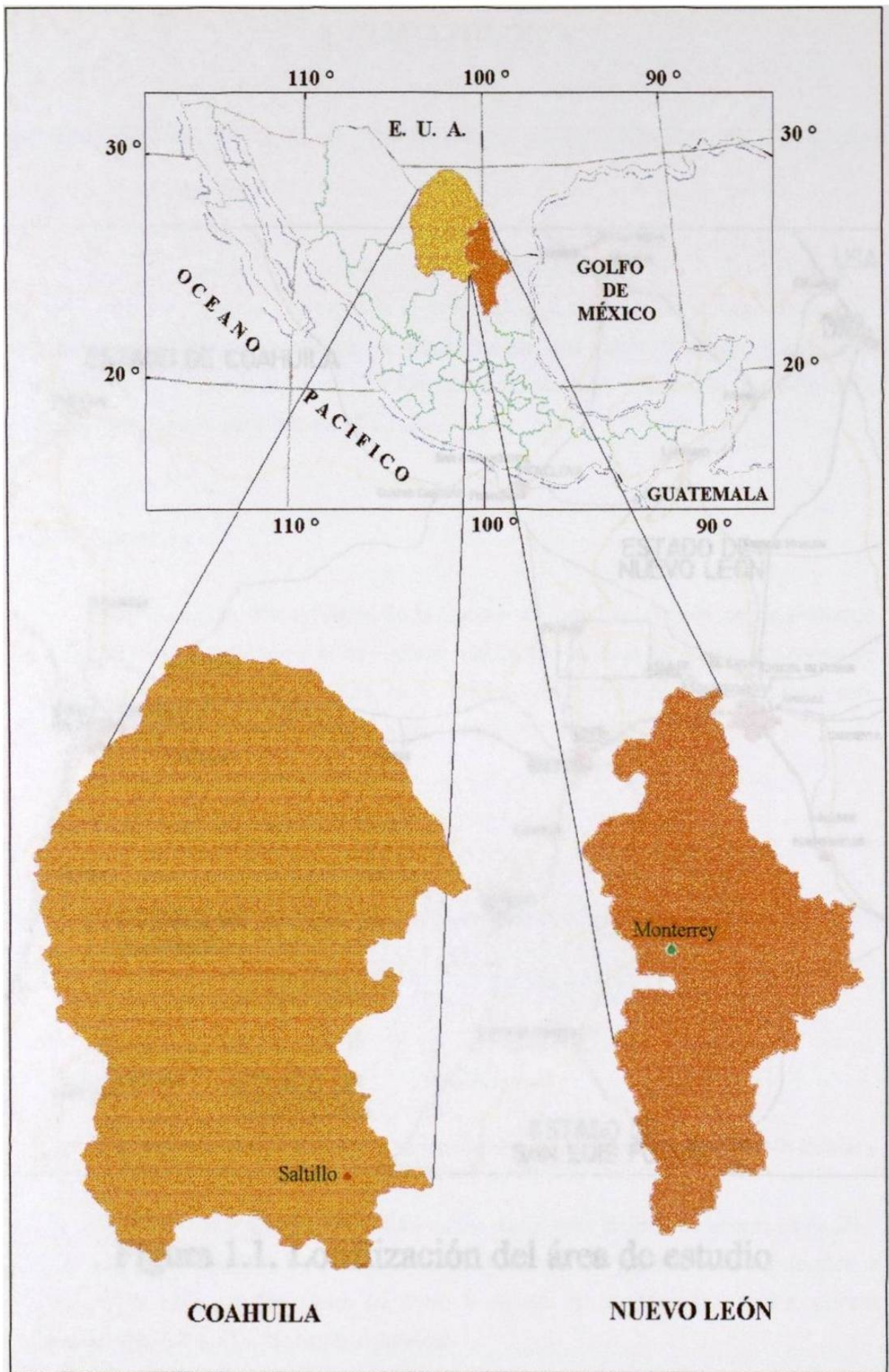


Figura N° 1. Estados de la República Mexicana en los que se localiza el área de estudio



Figura 1.1. Localización del área de estudio

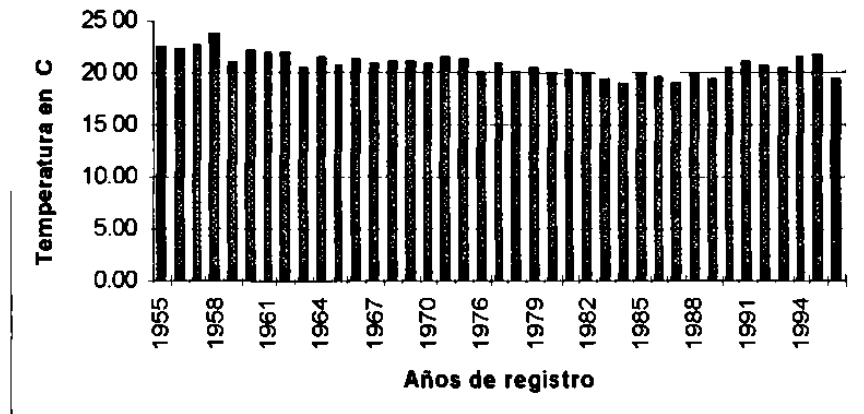
2. CLIMATOLOGIA

2.1 Clima de la Región

Considerando la clasificación climática de Koeppen (Campos A. D., 1992), en el área de estudio, el clima corresponde al grupo Bw, que se caracteriza por clima seco desértico; también se consideró la clasificación que hace Thornth Waite, que corresponde a un clima del tipo E, árido, tomando en cuenta su grado de humedad y cálido por su temperatura (figura N° 2).

2.2 Temperatura

Para el análisis climatológico de la Cuenca de Paredón-Icamole, se consideraron dos estaciones climatológicas: la de Icamole y la de Chupaderos del Indio. El período de registro en el caso de la temperatura, es de 1955 a 1996, para la primera estación y para la complementaria es de 1981 a 1995, como se muestra en la siguiente gráfica.



Gráfica N° 1. Valores promedios de temperatura. registrados en las estaciones climatológicas de Icamole y Chupaderos del Indio

El valor promedio de temperatura media anual para la zona de interés es de 20.3 °C, se registran temperaturas mínimas de 6.8 y 9.1 °C en los meses de Diciembre y Enero; en cambio, en los meses de Junio y Agosto la temperatura alcanza valores promedio de 30.6 y 31.2 °C respectivamente.

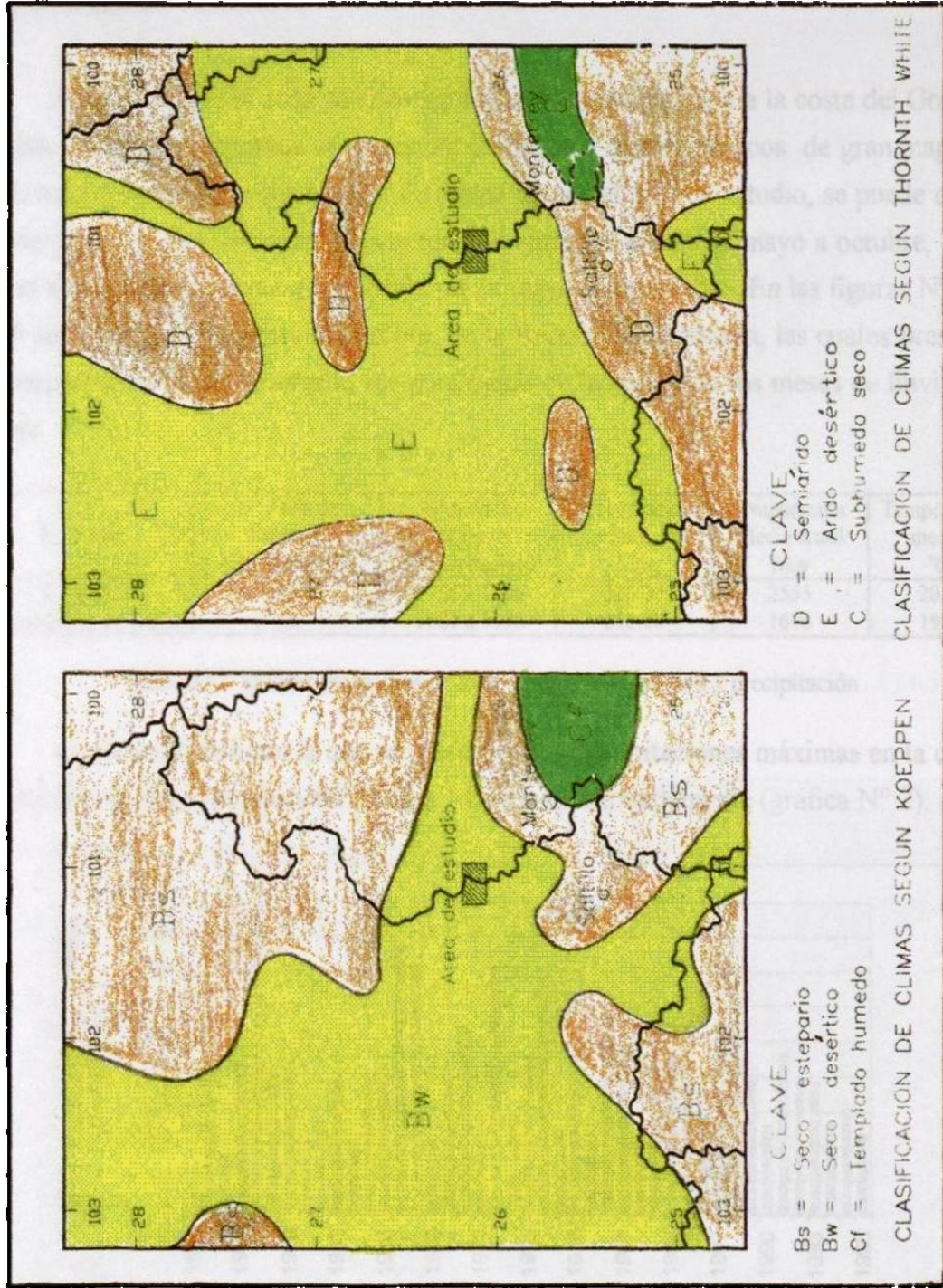


Figura N° 2. Clasificación del clima en el área de estudio

2.3 Precipitación

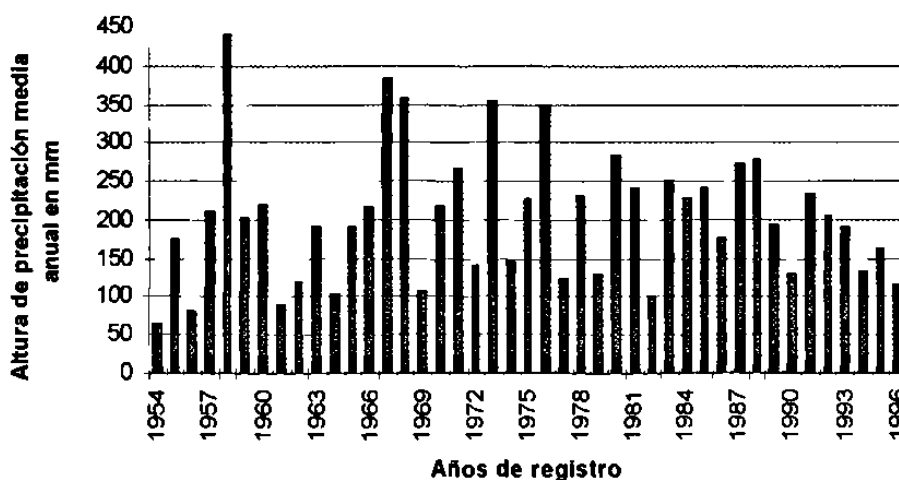
La precipitación media anual registrada en el área de estudio es de 205 mm en la estación Icamole y 212 mm en la de Chupaderos del Indio (tabla N° 1) con un valor mínimo de 89 mm en el año de 1961 y máximo de 442.4 mm en 1958, registrados en la estación Icamole.

A pesar de que la zona se encuentra relativamente cercana a la costa del Golfo de México, donde generalmente se presentan fenómenos meteorológicos de gran magnitud (ciclones y tormentas) y que afectan de forma parcial el área de estudio, se puede definir la temporada de lluvias como la comprendida entre los meses de mayo a octubre, en los que se alcanza un valor máximo de 80 mm en mayo y septiembre. En las figuras N° 3, 4, 5 y 6 se presentan imágenes de satélite, de la República Mexicana, las cuales presentan el comportamiento del desarrollo meteorológico de la región en los meses de lluvia y de estiaje.

Estación	N° Años de Registro (Precipitación)	Periodo de Registro (Precipitación)	Precipitación media anual Mm	Evaporación Media anual Mm	Temperatura media °C
Icamole	41	1955 a 1996	205.00	2555	20.9
Chupaderos de Indio	16	1981 a 1996	212.00	1676	19.8

Tabla N° 1. valores promedios de temperatura, evaporación y precipitación

La periodicidad con la que se presentan las precipitaciones máximas en la cuenca en estudio, varía en un intervalo de 12 a 14 años aproximadamente (gráfica N° 2).



Gráfica N° 2. Ciclo de las precipitaciones en la cuenca de Paredón-Icamole

En la siguiente imagen se presenta el desarrollo meteorológico que comúnmente se aprecia durante el mes de enero en el norte de la República mexicana. En particular, el noreste del país registra frentes fríos provenientes del hemisferio norte, los cuales originan un descenso en las temperaturas de la región (Boletín Meteorológico, CFE).

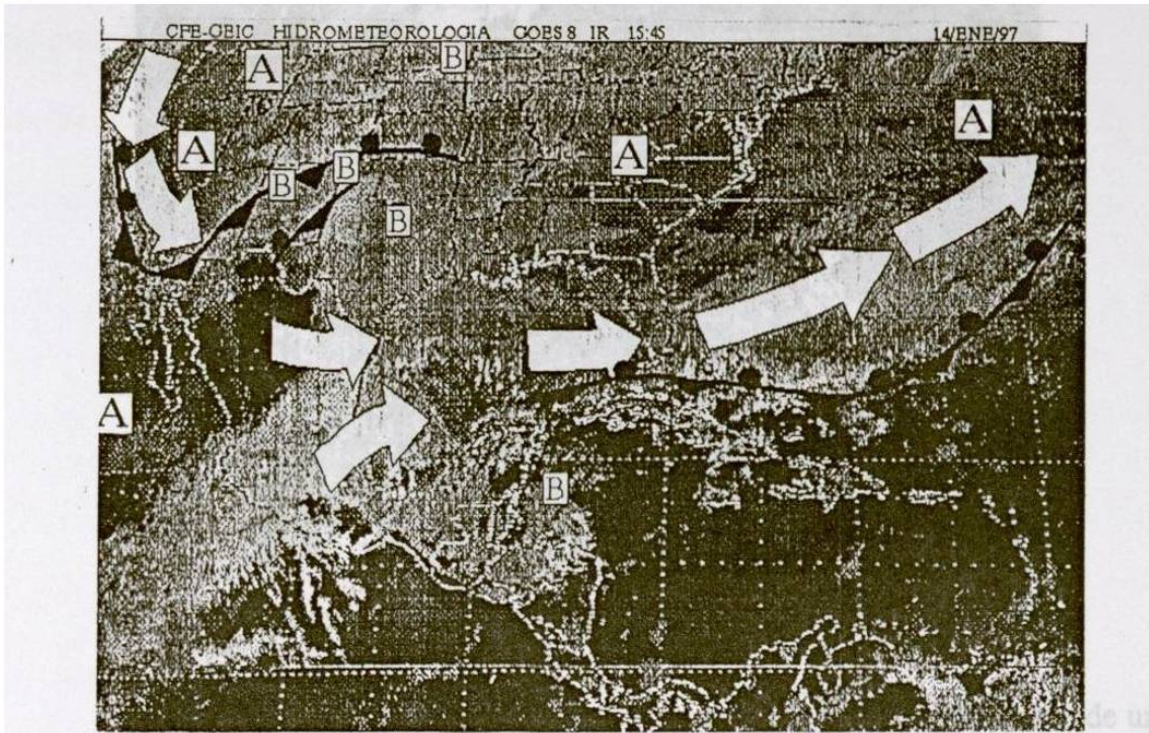


Figura N° 3. Imagen típica del mes de enero del desarrollo meteorológico de la República Mexicana

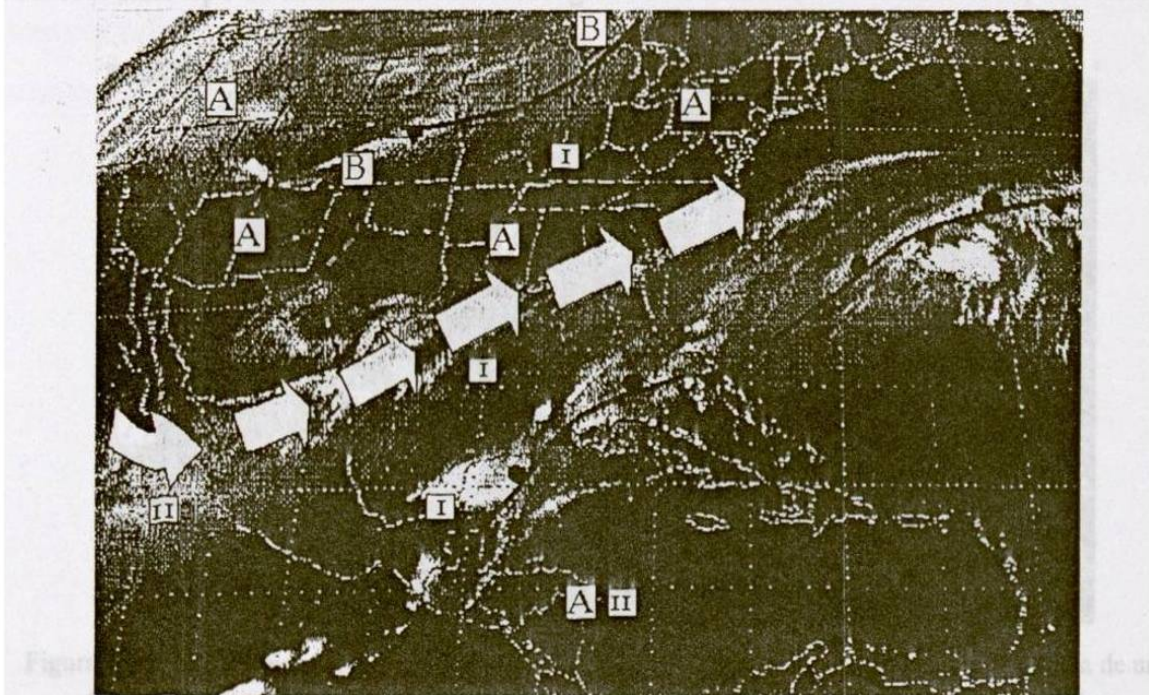


Figura N° 4. Desarrollo meteorológico en México, correspondiente al mes de mayo

En la figura anterior se aprecia una masa de aire frío que interacciona con la afluencia de aire húmedo tropical; dichos sistemas se debilitan con la corriente en chorro sobre la misma región, ocasionando aumentos de nublados con lluvias de moderadas a fuertes aisladas, en la parte noreste del país (Boletín Meteorológico, CFE).

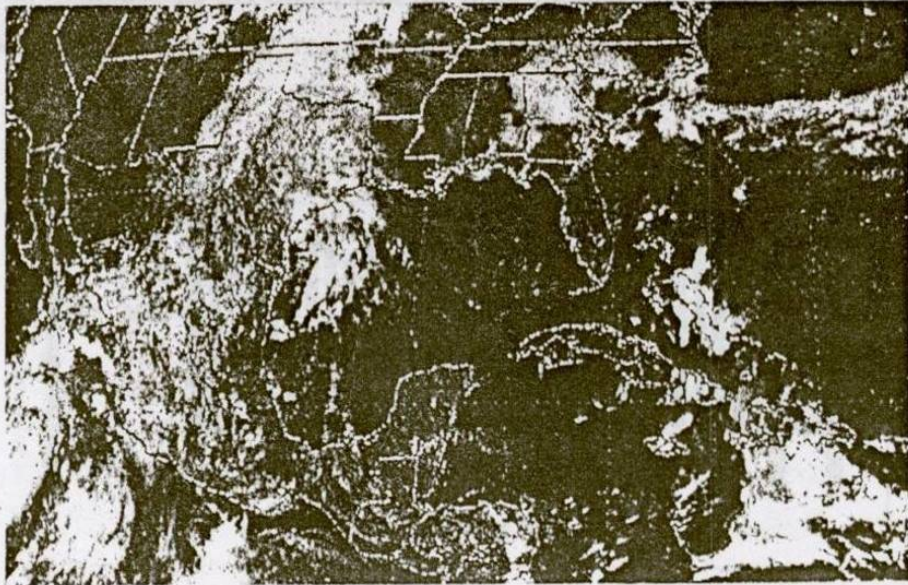


Figura N° 5. Imagen meteorológica de México correspondiente al mes de septiembre

La figura N° 5, muestra la presencia de un frente frío que se extiende desde una baja presión localizada en el centro del río Mississippi, hasta la parte media de Tamaulipas; dicho sistema favorece los nublados y precipitaciones en el noreste de México. Este tipo de fenómenos meteorológicos son comunes en el mes de septiembre.

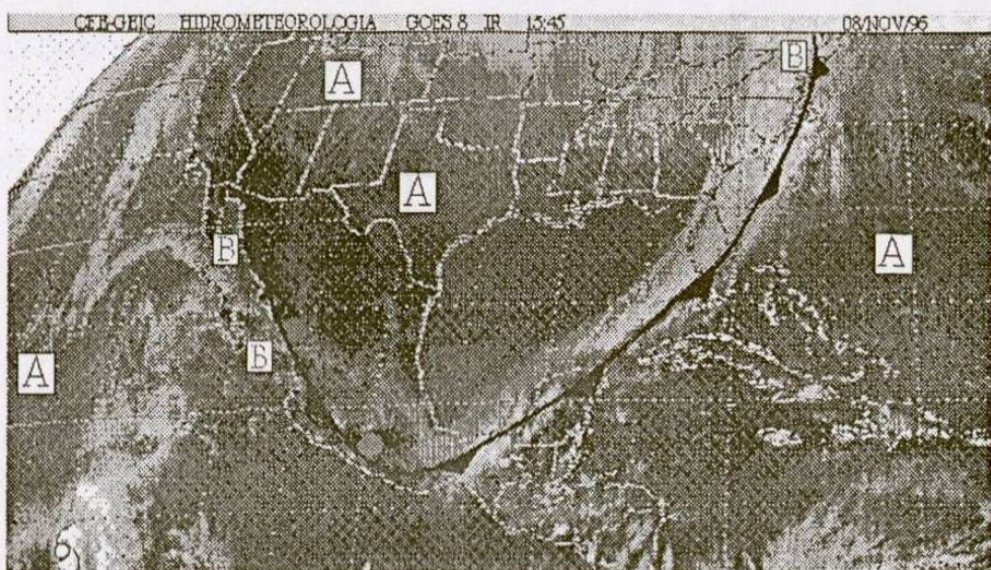
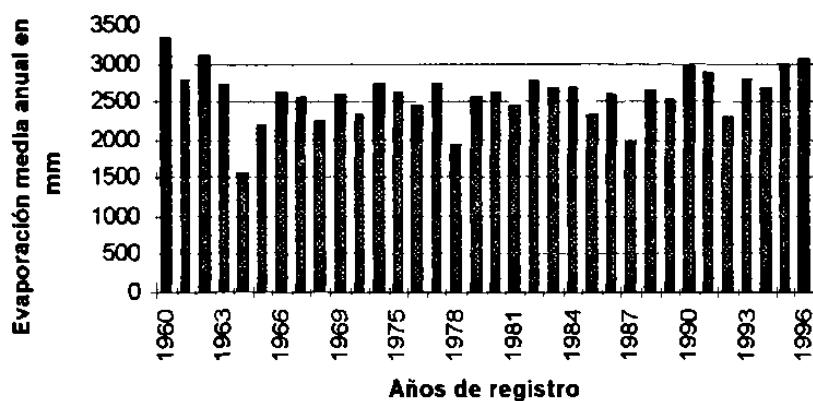


Figura N° 6. Imagen meteorológica correspondiente al mes de noviembre, se aprecia la presencia de un frente frío desarrollado en el pacífico y en el Golfo de México, nótese gran parte del país sin presencia de lluvias

2.4 Evaporación

Considerando la localización del área en estudio, en la región, la evaporación es alta y alcanza valores medios anuales de 2,555 mm en la estación de Icamole y 1,676 mm en la de Chupaderos del Indio, con un valor mínimo de 1,562 mm en 1964 y uno máximo de 3,300 mm, en 1960, registrados en la estación de Icamole (gráfica N° 3)



Gráfica N° 3. Valores de la evaporación media anual en la cuenca de Paredón-Icamole

En general, la evaporación se concentra durante los meses de abril a agosto; los valores típicos medios mensuales son de 50 mm, en enero y 397 mm, en agosto.

Por medio de la aplicación de los polígonos de Thiessen se determinaron las áreas de influencia para cada estación, dentro del área de estudio (tabla N° 2).

ESTACIÓN	ÁREA DE INFLUENCIA km ²	%
Icamole	38.5	22.5
Chupaderos del Indio	132.8	77.5
Área total de la cuenca	171.3	100

Tabla N° 2. Área de influencia de las estaciones en la cuenca de Paredón-Icamole

3. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

3.1 Localización del Área

Regionalmente, el área en estudio se localiza dentro de la Región Hidrológica N° 24 (División de las Regiones Hidrológicas de la República Mexicana, CNA) que tiene salida del drenaje hacia el Golfo de México (plano N° 2). Esta región es drenada por el río San Juan, el cual es un escurrimiento muy importante en el noreste del país, debido a las zonas urbanas ubicadas en la cuenca; desemboca a 58 Km, aguas abajo, de la Presa Falcón. Dada su ubicación, la cuenca del río San Juan está expuesta a las frecuentes perturbaciones ciclónicas del Golfo de México. El régimen del río es irregular y está formado por los siguientes afluentes: Salinas, Pesquería, Santa Catarina, Ramos, Pilon y Mohino; de éstos, el primero tiene gran influencia en la recarga del acuífero en estudio.

3.2 Red Hidrográfica

En particular, el área de estudio se definió con base en las estructuras geológicas existentes en la zona, las cuales presentan una orientación E-W y permiten la formación de un parteaguas hidrográfico constituido por varios y pequeños escurrimientos de curso intermitente, los cuales se originan en las partes altas de las sierras, labrando su cauce hasta penetrar en el aluvión e integrarse a otras corrientes superficiales de mayor magnitud; creando así la red de drenaje principal (de tipo dendrítico) de la cuenca, de tercer orden (véase plano N° 2), formada por el río Patos, que entra por el lado noroeste hacia la cuenca, en el estado de Coahuila, y después de un recorrido de 8 km dentro de la misma, el escurrimiento cambia de nombre por el de río Salinas, en el estado de Nuevo León, el cual drena hasta la salida de la cuenca, no sin antes alimentar un pequeño embalse denominado las Trancas. Este escurrimiento recibe las aportaciones del arroyo Carrizos, por su margen izquierda y el arroyo Los Ranchos, por su margen derecha, los dos localizados ya dentro del Estado de Nuevo León.

Es importante señalar que en la zona existen varias manifestaciones superficiales, como es el caso de los manantiales de la Azufrosa, San Joaquín y Las Cuatas, otros se localizan en partes altas donde termina de aflorar la lutita-arenisca; por ejemplo, los

manantiales de El Antrisco y La Virgen; una pequeña parte de los escurrimientos generados por estas emanaciones se utilizan para el consumo humano y lo restante en la irrigación de raquílicas parcelas cerca de dichos alumbramientos. Se establece con ello la urgente necesidad de un estudio de calidad del agua, que se contempla en el presente trabajo (plano N° 2).

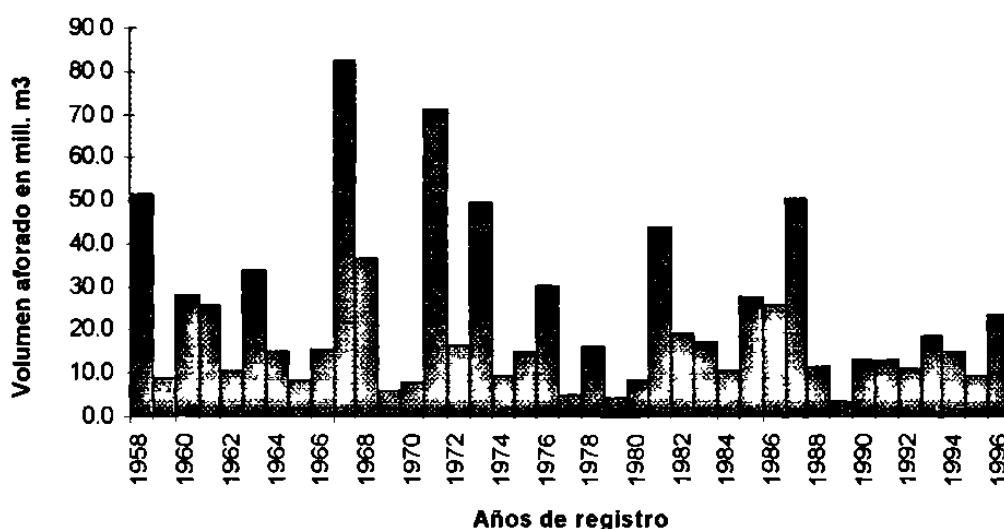
3.3 Hidrometría del Río Patos-Salinas

Referente a la hidrometría del río Patos-Salinas, que drena la cuenca en estudio, es importante señalar que los volúmenes de aportaciones de los diferentes escurrimientos de la zona, son muy pequeños, esto debido a que un gran número de ellos se disgregan por evaporación e infiltración, contribuyendo a que se tengan volúmenes mínimos de escurrimiento.

ESTACION HIDROMETRICA DE ICAMOLE			
Año	Volumen aforado mill. m ³	Año	Volumen aforado mill. m ³
1958	51 651	1978	16 215
1959	8 930	1979	4.641
1960	28.472	1980	8 514
1961	25.832	1981	44 228
1962	10.845	1982	18 992
1963	34 046	1983	17 049
1964	15 259	1984	10 630
1965	8 567	1985	27 842
1966	15 791	1986	25 735
1967	82.574	1987	50.800
1968	36 680	1988	11 689
1969	6 133	1989	3 424
1970	7 955	1990	13 067
1971	71.455	1991	12.917
1972	16 723	1992	11.041
1973	49 539	1993	18.734
1974	9.797	1994	15.088
1975	15.319	1995	9.697
1976	30.331	1996	24.00
1977	5.258	Sumatoria -	875 46
Volumen medio anual aforado en millones de m ³ = 22.447			

Tabla N° 3. Registro hidrométrico del río Patos-Salinas en la estación de Icamole

El río Patos-Salinas, es aforado a la salida de la cuenca por la estación hidrométrica de Icamole. Se cuenta con un período de registro de 39 años, desde 1958 a 1996, en el cual se puede observar un volumen medio anual de escurrimiento de 22.447 millones de m³. Los mayores escurrimientos se originan durante los meses de mayo a octubre y se registran valores mínimos y máximos medios anuales de 3.424 millones de m³, en 1989 y de 82.574 millones de m³, en 1967, respectivamente (Gráfica N° 4).



Gráfica N° 4. Hidrometria del río Patos-Salinas

3.4 Balance Hidrológico

Regionalmente, la cuenca estudiada para el análisis del escurrimiento superficial, se localiza en la Región Hidrológica N° 24 (Regiones hidrológicas de la Republica Mexicana, CNA) cuenta con un área total de 10,312.4 Km². Debido a la ubicación del acuífero en estudio y a la ramificación de los diferentes escurrimientos que contribuyen a la recarga del mismo, se dividió la cuenca inicial en cuatro subcuencas (figura N° 7).

Subcuenca 1, denominada Cuenca de Paredón-Icamole, cuenta con una área de 1713 Km², es en esta cuenca donde se localiza el acuífero en estudio, la principal corriente que drena el área es el río Patos, el cual cambia de nombre por el de río Salinas a la mitad de la cuenca, presenta una longitud aproximada de 26.3 Km, desde la entrada a la cuenca, en la parte norte del poblado de Paredón, hasta la estación hidrométrica de Icamole; esta cuenca recibe las aportaciones de los escurrimientos generados por las tres cuencas adyacentes.

Subcuenca 2, o Cuenca Chupaderos del Indio. Esta cubre un área de 133.4 Km², su corriente principal es el arroyo Los Ranchos, con una longitud aproximada de 17.5

Km; al Sureste de la cuenca se localiza la estación climatológica de Chupadero del Indio, la cual cubre los registros de precipitación de dicha región.

Subcuenca 3, o Cuenca Carrizos. Abarca un área de 82.6 Km², tiene como corriente principal el arroyo los Carrizos, de una longitud aproximada de 13.50 Km. Esta cuenca forma parte del área de influencia de la estación climatológica de Icamole.

Subcuenca 4, denominada Cuenca Saltillo-Paredón. Aunque esta cuenca por sus dimensiones y su morfología que define una serie de cuencas endorréicas pequeñas, que pudieran considerarse independientes entre sí en el aspecto de la hidrología superficial, no así ocurre en el análisis de la hidrología subterránea, ya que es de esperarse que dichas cuencas endorréicas se comuniquen entre sí por medio de los flujos subterráneos, originados por las filtraciones de los escurrimientos superficiales; por lo tanto, queda justificado el porqué se analizó toda esta cuenca para el balance hidrológico. Esta cuenca comprende un área de 9,925.1 Km², su corriente principal, el río Patos, alcanza una longitud de 143.0 Km y desemboca en la parte norponiente de la Cuenca de Paredón-Icamole.

Es importante mencionar que en toda esta longitud -río Patos- no se cuenta con ninguna estación de aforo, considerando que en 1949 se instalaron dos estaciones hidrométricas en el suroeste de Saltillo: Vaquería y San Juan. La primera se instaló en el arroyo Vaquería y en un período corto registró un gasto máximo de 5.35 m³/s y un mínimo de 0.014 m³/s. La estación San Juan se instaló en el arroyo del mismo nombre y registró gastos máximo y mínimo de 1.81 y 0.010 m³/s. Ambas estaciones se suspendieron en 1953 y por el corto tiempo de funcionamiento, no fue posible calcular el volumen medio anual del río en los dos afluentes (CNA, 1996), contribuyendo así al análisis hidrológico global de toda la cuenca. Los registros de precipitación que se originan en toda el área de esta cuenca son cubiertos por 17 estaciones climatológicas; de las cuales, la estación que presenta un registro mayor es la de Saltillo, Coahuila.



Figura N° 7. División de cuencas consideradas para el análisis del balance hidrológico

3.4.1 Precipitación

Para la determinación de los escurrimientos superficiales que alimentan a la cuenca del acuífero en estudio, se consideró la aplicación del método de los polígonos de Thiessen para la estimación del volumen total de lluvia, tomando en cuenta las áreas tributarias de las estaciones pluviométricas, que cubren la totalidad del área de las cuencas mencionadas (figura N° 8). Los volúmenes totales obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

CUENCA	N y Nombre de la Estacion	Precipitación media anual (mm)	Área de influencia (km ²)	Volumen de Precipitación Mill m ³
S A L T I L L O	1. - Cameros	400	284.70	113.88
	2. - Gral. Cepeda	359	723.20	259.63
	3. - San Juan de la Vaquera	459	695.80	319.37
	4. - Huachichil	666	110.80	73.79
	5. - La Rosa	381	1895.90	722.34
	6. - Saltillo	351	591.20	207.51
	7. - Arteaga	336	305.90	102.78
	8. - Tunal	404	237.50	95.95
	9. - Jame	466	68.70	32.01
	10. - Ciénega de la Punsima	837	8.90	7.45
	11. - Ramos Anzpe	303	713.70	216.25
	12. - Alto de Nonas	284	2214.50	628.92
	13. - Chupadero del Indio	210	344.80	72.41
	14. - Icamole	203	110.80	22.49
	15. - Ejido Reata	232	640.90	148.69
	16. - La Popa	244	158.70	38.72
	17. - Santa Teresa	351	819.10	287.50
SUMA			9925.10	3.349.704
PAREDÓN E	13. - Chupadero del Indio	212	132.80	28.154
	14. - Icamole	205	38.50	7.893
ICAMOLE	SUMA		171.30	36.047
CHUP. DEL INDIO	13. - Chupadero del Indio	212	127.70	27.072
	14. - Icamole	205	5.70	1.169
	SUMA		133.40	28.241
CARRIZOS	14. - Icamole	205	82.60	16.933

Tabla N° 4. Volúmenes totales de precipitación en cada una de las cuencas

El volumen de lluvia estimado en la cuenca de Saltillo-Paredón fue de 3,349.704 mill. m³, para la cuenca Carrizos fue de 16.933 mill. m³, en la cuenca de Chupadero del Indio el valor obtenido fue de 28.241 mill. m³ y finalmente para la cuenca de Paredón-Icamole el volumen determinado fue de 36.047 mill. m³. La periodicidad de la precipitación en la cuenca de Saltillo-Paredón se muestra en la gráfica N° 5.

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS Y PLUVIOMÉTRICAS

N° y Nombre de la Estación	Localización (coordenadas geográficas)		Área de influencia (km ²)	Localización Municipio y Estado
	Latitud	Longitud		
Cuenca 4, Saltillo-Paredón				
1.- Cameros	25° 07' 20"	101° 06' 36"	284 70	Saltillo, Coahuila
2.- Gral Cepeda	25° 22' 41"	101° 28' 30"	723 20	Gral. Cepeda, Coahuila
3.- San Juan de la Vaquería	25° 15' 09"	101° 15' 58"	695 80	Saltillo, Coahuila
4.- Huachichil	25° 12' 37"	100° 49' 27"	110 80	Arteaga, Coahuila
5.- La Rosa	25° 31' 05"	101° 23' 17"	1895 90	Gral Cepeda, Coahuila
6.- Saltillo	25° 26' 07"	100° 54' 43"	591 20	Saltillo, Coahuila
7.- Arteaga	25° 26' 41"	100° 50' 11"	305 90	Arteaga, Coahuila
8.- Tunal	25° 25' 13"	100° 38' 03"	237 50	Arteaga, Coahuila
9.- Jame	25° 21' 59"	100° 37' 11"	68 70	Arteaga, Coahuila
10.- Ciénega de la Purísima	25° 20' 15"	100° 31' 49"	8 90	Arteaga, Coahuila
11.- Ramos Arizpe	25° 32' 26"	100° 57' 02"	713 70	Ramos Arizpe, Coahuila
12.- Alto de Norias	25° 58' 37"	101° 14' 44"	2214 50	Ramos Arizpe, Coahuila
13.- Chupadero del Indio	25° 48' 50"	100° 47' 15"	344 80	García, Nuevo León
14.- Icamole	25° 55' 31"	100° 41' 15"	110 80	García, Nuevo León
15.- Ejido Reata	26° 07' 42"	101° 04' 33"	640 90	Ramos Arizpe, Coahuila
16.- La Popa	26° 09' 10"	100° 49' 40"	158 70	Mina, Nuevo León
17.- Santa Teresa	26° 23' 45"	101° 21' 13"	819 10	Castaños, Coahuila
Cuenca 1, Paredón-Icamole				
Est. Chupadero del Indio	25° 48' 50"	100° 47' 15"	132 80	García, Nuevo León
Est. Icamole	25° 55' 31"	100° 41' 15"	38 50	García, Nuevo León
Cuenca 2, Chup. del Indio				
Est. Chupadero del Indio	25° 48' 50"	100° 47' 15"	127 70	García, Nuevo León
Est. Icamole	25° 55' 31"	100° 41' 15"	5 70	García, Nuevo León
Cuenca 3, Carrizos				
Est. Icamole	25° 55' 31"	100° 41' 15"	82 60	García, Nuevo León

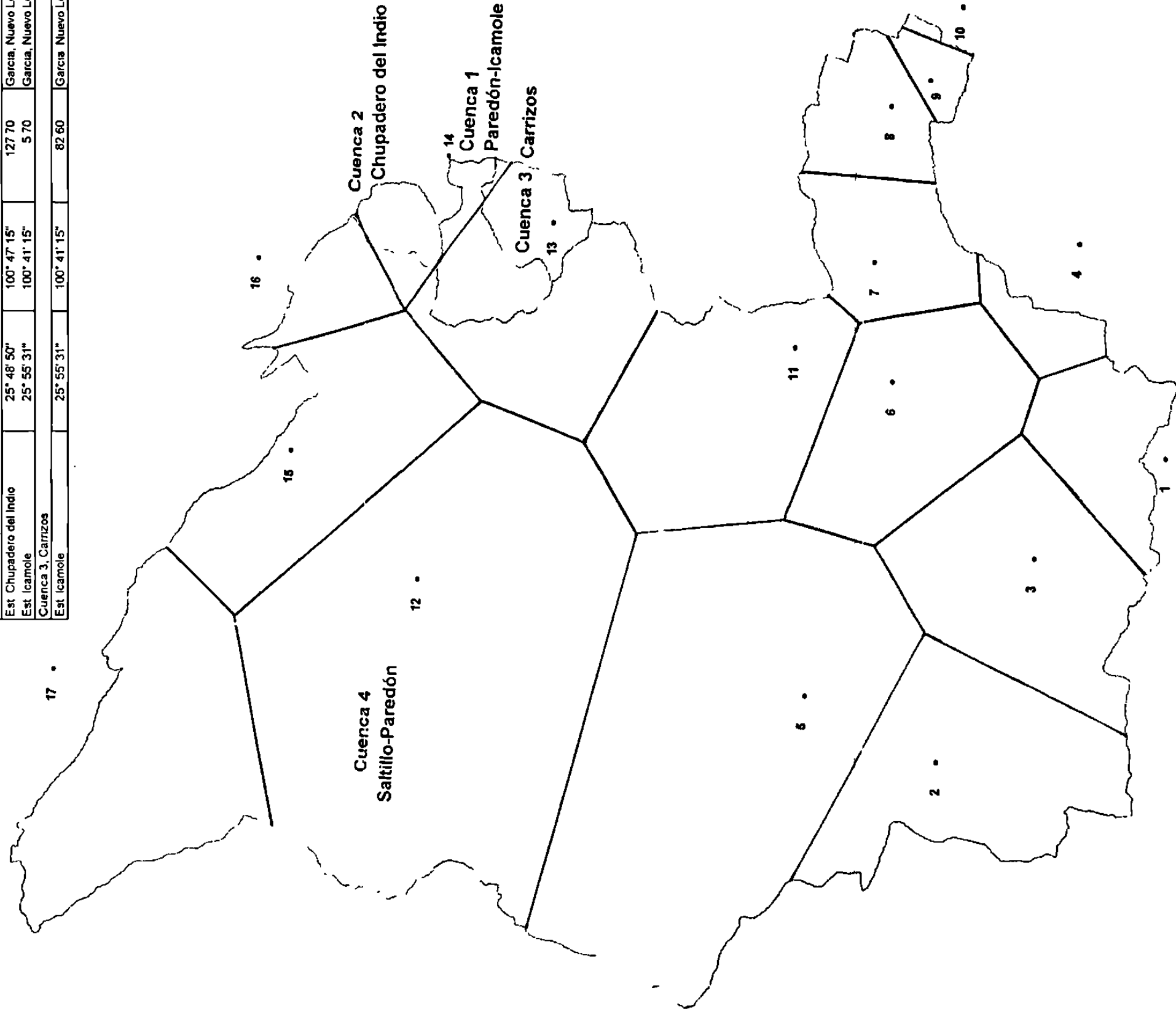
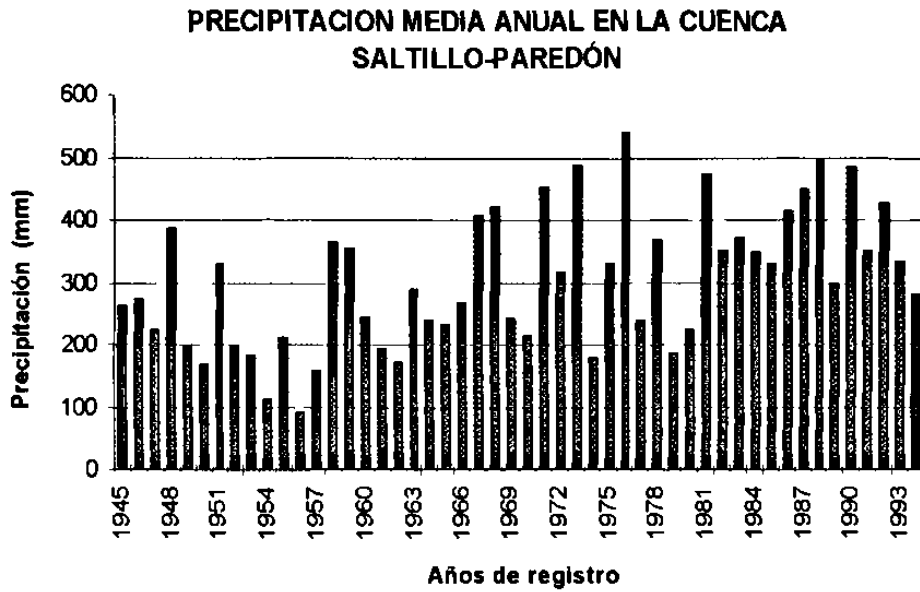


Figura 8. Área de influencia de las estaciones pluviométricas en las cuencas analizadas para el balance hidrológico, mediante el uso de los polígonos de Thiessen



Gráfica N° 5. Registro del período de precipitación en la cuenca de Saltillo-Paredón

Mediante la configuración de isoyetas medias anuales en la región analizada para el balance hidrológico, se pueden apreciar tres zonas claras de precipitación, una de éstas se define por los valores altos de precipitación (hasta 1000 mm anuales) los cuales se ubican paralelos a la Sierra Madre Oriental en el estado de Nuevo León. Se aprecia también una zona de precipitación con valores intermedios, de 250 a 500 mm anuales, la cual comprende los municipios de General Cepeda, Saltillo, Ramos Arizpe, Arteaga y Mina. La zona que presenta valores mínimos de precipitación abarca en su totalidad la cuenca de Paredón-Icamole, en la que se registran valores de 200 y 225 mm anuales; dicha zona se extiende hacia el centro del estado de Coahuila influyendo de manera directa en los valores mínimos de escurrimiento del río Patos. En la figura N° 9 se muestra la configuración de isoyetas medias anuales, que cubren la región comprendida por las cuatro cuencas.

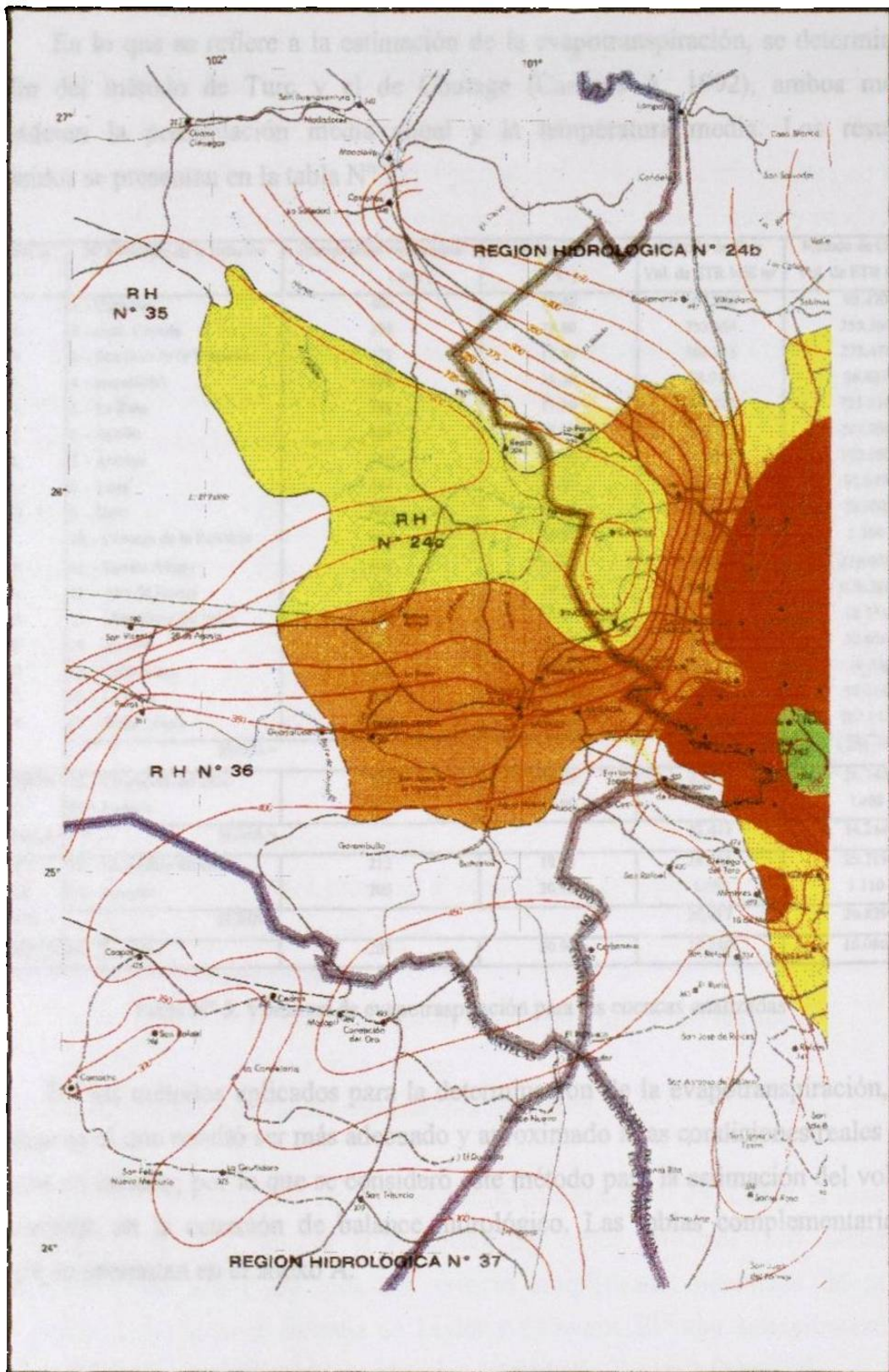


Figura N 9. Configuración de isoyetas medias anuales en la región donde se localizan las cuencas analizadas para el balance hidrológico.

3.4.2 Evapotranspiración

En lo que se refiere a la estimación de la evapotranspiración, se determinó por medio del método de Turc y el de Coutage (Campos A. 1992), ambos métodos consideran la precipitación media anual y la temperatura media. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla N° 5.

CUENCA	N y Nombre de la Estación	Precipitación media anual (mm)	Temperatura media (°C)	Método de Turc Vol. de ETR Mill m ³	Metodo de Coutage Vol. de ETR Mill m ³
S A L T I L L O O P A R R I Z O S	1 - Cameros	400	15.40	107.966	98.470
	2. - Gral Cepeda	359	18.80	233.666	259.369
	3 - San Juan de la Vaqueria	459	17.10	301.713	273.476
	4. - Huacinchil	666	14.50	58.913	56.427
	5. - La Rosa	381	17.50	707.093	721.616
	6. - Saltillo	351	18.10	206.281	207.304
	7 - Arteaga	336	17.10	101.862	102.680
	8. - Tunal	404	15.10	90.419	82.647
	9. - Jame	466	12.10	27.506	26.032
	10. - Cienega de la Punsima	837	15.50	5.525	5.350
	11 - Ramos Arizpe	303	22.40	194.626	216.035
	12. - Alto de Norras	284	18.80	566.026	628.289
	13. - Chupadero del Indio	210	19.80	65.167	72.336
	14. - Icamole	203	20.90	20.243	22.470
	15 - Ejido Reata	232	20.30	133.820	148.540
	16. - La Popa	244	20.90	34.851	38.684
	17 Santa Teresa	351	20.20	258.754	287.217
SUMA =				3,114.449	3,246.942
PAREDÓN E	13 - Chupadero del Indio	212	19.80	25.338	26.746
	14. - Icamole	205	20.90	7.103	7.498
ICAMOLE	SUMA			32.441	34.244
CHUP. DEL INDIO	13. - Chupadero del Indio	212	19.80	24.365	25.719
	14. - Icamole	205	20.90	1.052	1.110
	SUMA			25.417	26.829
CARRIZOS	14 - Icamole	205	20.90	15.240	16.086

Tabla N° 5. Volumen de evapotranspiración para las cuencas analizadas

De los métodos aplicados para la determinación de la evapotranspiración, el de Coutage es el que resultó ser más adecuado y aproximado a las condiciones reales de las cuencas en estudio; por lo que se consideró este método para la estimación del volumen de pérdidas en la ecuación de balance hidrológico. Las tablas complementarias del cálculo se presentan en el anexo A.

3.4.3 Infiltración y Escurrimiento

Para estimar la infiltración en cada una de las cuencas que contribuyen al escurrimiento superficial de la cuenca donde se localiza el acuífero en estudio, se empleó el modelo matemático, propuesto por la U. S. Army Corps of Engineers Hidrologic, denominado (Hec-1) Flood Hydrograph Package. Básicamente, se utilizó este modelo, ya que considera el mayor número de variables hidrológicas y se ajusta a la información pluviométrica con que se cuenta en la región.

Los parámetros utilizados para la aplicación de este modelo, fueron determinados en cada una de las cuencas, considerando la unidad hidrográfica de Clarck. En la tabla N° 6, se muestran los valores calculados.

Nº y Nombre de la Cuenca	Area km ²	Lcp km	Lca Km	S %	Cl	N	DU %	QS
1 - Paredón e Icamole	171.3	26.30	13.15	0.383	3.79	79.46	0.0	100
2 - Chupaderos del Indio	133.4	17.20	8.75	2.349	5.12	86.75	0.0	100
3 - Carrizos	82.6	13.50	6.75	1.617	5.12	85.40	0.0	100
4 - Saltillo-Paredón	9925.1	143.00	71.50	0.719	3.79	79.63	0.2	100

Tabla N° 6. Parámetros de la unidad hidrográfica de Clarck, para cada cuenca

Donde:

Lcp=Longitud del cauce principal

Lca=Longitud del cauce principal al centroide de la cuenca

S=Pendiente del cauce principal

Cl=Coeficiente de clark

N=Coeficiente de escurrimiento en función del tipo y uso del suelo

DU=Desarrollo urbano en la cuenca

QS=Porcentaje de caudal aportado por la cuenca

Una vez determinados los tres primeros parámetros (Lcp, Lca y el área de la cuenca) se procedió a calcular la pendiente del cauce principal (So) mediante la aplicación de los siguientes métodos: criterio simplificado, pendiente de la recta equivalente y mediante la formula de Taylor y Schwarz. El valor seleccionado fue el que presentó un valor medio de los obtenidos (método de Taylor y Schwarz).

Para la obtención del coeficiente de Clarck, se consideró el porcentaje de desarrollo urbano existente en la cuenca, así como también la pendiente del cauce

principal. En la siguiente tabla se muestra el nivel de los valores que puede tomar el coeficiente.

So (ft/milla)	Área urbanizada (% desarrollo = DU)	Coef. Clarck C1
> 40	0	5.12
20<S<40	0	3.79
<20	0	2.46
>40	100	1.95
<20	100	0.94
C = 7.25, si el % de desarrollo es <18		

Tabla N° 7. Valores del Coeficiente de Clarck

Para el caso particular del presente estudio, el valor de DU en las cuatro cuencas resultó ser menor al 18 %, por lo que el coeficiente "C" fue de 7.25 y a partir de estos valores, se obtuvo el tiempo de concentración (Tc) y el tiempo base del hidrograma de Clarck (R) en hrs. En la tabla N° 8, se enlistan los valores obtenidos.

N° Cuenca	C	Tc	R
1	7.25	7.145	10.893
2	7.25	2.395	4.735
3	7.25	2.217	4.556
4	7.25	30.778	16.941

Tabla N° 8. Valores del tiempo de concentración y de base del hidrograma de Clarck

El coeficiente de escurrimiento (N) se determinó mediante la zonificación del tipo de suelo y de vegetación existente en cada cuenca (planos Nos. 3 y 4) considerando la clasificación de los cuatro grupos hidrológicos de suelos que establece el Soil Conservation Service (Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América), la descripción de cada grupo así como las tablas para la obtención del coeficiente de escurrimiento para los complejos hidrológicos suelo-cobertura, en zonas agrícolas y cuencas rurales se presentan en el anexo A.

Los valores obtenidos de N, correspondientes a las cuencas analizadas se presentan en las tablas Nos. 9 y 10.

Una vez conocidos los parámetros de la unidad hidrográfica de Clarck, se procedió a determinar el comportamiento de la precipitación en la región, mediante el cálculo de las curvas intensidad-duración-periodo de retorno (I-D-Tr) de las estaciones

pluviométricas que se localizan en cada una de las cuencas analizadas, tomando en cuenta el valor estimado del tiempo de concentración de Clarck. Las tablas con los valores que conforman las curvas mencionadas se presentan en el anexo A.

Básicamente, los resultados obtenidos al aplicar el modelo hidrológico HEC-1, fueron: la altura de lluvia en exceso (escurrimiento) y la correspondiente a la altura efectiva de la tormenta simulada, en un año cualquiera; esta última considera la lámina de escurrimiento producida por la precipitación, menos la originada por la evapotranspiración, la cual tiende a tener un valor muy pequeño (se desprecia) y generalmente no se presenta cuando se origina el escurrimiento, ya que inicialmente, se debe satisfacer la demanda de agua hacia la atmósfera, la requerida por las plantas y la que absorbe el subsuelo, para que una vez cubiertas estas demandas se origine el escurrimiento. En la tabla N° 11 se presenta un resumen de los valores obtenidos al aplicar el modelo y en el anexo A se enlista el desarrollo global del mismo.

No. y Nombre de Cuenca	Altura efectiva de tormenta simulada en mm	Altura de escurrimiento mm	Escurrimiento %
1. - Paredón e Icamole	60.69	19.98	32.92
2. - Chupadero del Indio	60.69	30.54	50.32
3. - Carrizos	39.51	12.92	32.70
4. - Saltillo-Paredón	78.84	22.09	28.02

Tabla N° 11. Valores de escurrimiento de una tormenta simulada mediante el modelo hidrológico

Una vez obtenido el porcentaje de escurrimiento correspondiente a la altura efectiva de tormenta en cada cuenca, se procedió a determinar su volumen medio anual y el coeficiente con respecto a la altura total de precipitación, considerando ahora los valores de evapotranspiración registrados en las cuencas estudiadas. En la tabla N° 12 se presentan los volúmenes de escurrimiento calculados.

No. y nombre de cuenca	Clasificación geológica	Área km ²	Área en %	Tipo de vegetación	Área km ²	Área en %	Coeficiente de escurrimiento		
							Tabla A* (N)	Tabla B* (N)	
1.- Paredón-Icamole	Lut-Arenisca	82.70	48.30	Matorral	82.70	100	89	91	
		13.50	7.90	Chaparral	1.35	10	79	78	
	Conglomerado				Matorral	12.15	90	86	86
	Aluvión		75.1	43.8	Agricultura	2.25	3	35	prom. 85.30
					Chaparral	72.85	97	69	67
	sumas -		171.30	100				prom. 67.90	prom. 67.97
2.- Chupadero del Indio	Lut-Arenisca	95.60	71.70	Matorral	95.60	100	89	91	
		18.10	13.60	Agricultura	0.54	3	75	81	
	Conglomerado				Matorral	17.56	97	86	86
	Aluvión		19.70	14.70	Agricultura	0.99	5	35	prom. 85.67
					Chaparral	18.72	95	79	67
	sumas -		133.40	100				prom. 76.80	prom. 74.60
3.- Carrizos	Lut-Arenisca	54.50	65.90	Matorral	54.50	100	89	91	
		1.40	1.70	Matorral	1.40	100	86	86	
	Conglomerado		26.70	32.4	Matorral	26.70	100	79	75
	Aluvión		82.60	100				N prom. 85.40	N prom. 85.70
	sumas -							N prom. 86.75	N prom. 87.90
								N prom. 74.60	N prom. 87.90

* Las tablas A y B se presentan en el anexo A

Tabla N° 9. Determinación del coeficiente de escurrimiento (N) en función del tipo de suelo que predomina en la cuenca

CUENCA (4) SALTILLO-PAREDÓN									
Clasificación geológica	Área km ²	Área en %	Tipo de vegetación	Área en km ²	Área en %	Área en %	Coeficiente de escurrimiento		
							Tabla A* (N)	Tabla B* (N)	
Riolita	11.1	0.11	Matorral	11.1	100	100	89	91	
Pavimento	23.8	0.22	-	23.8	100	100	100	96	
Travertino	102.40	1.17	Bosque	102.40	100	100	55	60	
Lut-Arenisca	3170.40	31.9	Matorral	3170.40	100	100	89	91	
Caliza	2205.30	22.20	Bosque	1653.98	75	75	73	70	
			Matorral	485.17	22	22	86	86	
			Pastizal	66.16	3	3	79	81	
				suma= 2205.30	suma= 100	suma= 100	prom. 76	prom. 73.90	
Aluvión	3436.2	34.6	Agricultura	274.90	8	8	35	67	
			Pastizal	103.09	3	3	69	79	
			Chaparral	687.24	20	20	69	68	
			Matorral	2370.98	69	69	79	75	
				suma= 3436.20	suma= 100	suma= 100	prom. 73.18	prom. 73.10	
Conglomerado	975.9	9.8	Bosque	146.39	15	15	70	70	
			Agricultura	48.80	5	5	75	81	
			Pastizal	29.28	3	3	79	86	
			Matorral	751.44	77	77	86	86	
				suma= 975.90	suma= 100	suma= 100	prom. 82.80	prom. 83.40	
sumas =	9925.1	100					N prom. 79.63	N prom. 79.90	

* Las tablas A y B se presentan en el anexo A

Tabla N° 10. Determinación del coeficiente de escurrimiento (N) en función del tipo de suelo que predomina en la cuenca

No. y nombre de cueca	Volumen de precipitación (Vp) Mill m ³	Volumen de evapotranspiración (Vetr) Mill m ³	Volumen de lamina efectiva (Vp - Vetr) Mill m ³	Escurrimiento de lamina efectiva %	Volumen de escurrimiento (% Esc) (Vp - Vetr) Mill m ³	Coefficiente de escurrimiento (Vesc X 100 / Vp) %
1.- Paredón e Icamole	36.047	34.244	1.803	32.92	0.594	1.6
2.- Chupadero del Indio	28.241	26.829	1.412	50.32	0.711	2.5
3.- Carrizos	16.933	16.086	0.847	32.70	0.277	1.6
4.- Saltillo-Paredón	3349.704	3246.942	102.762	28.02	28.794	0.9

Tabla N° 12. Determinación del volumen de escurrimiento que aporta cada cueca al valle donde se localiza el acuífero en estudio

3.4.4 Ecuación de Balance Hidrológico

Para la obtención del volumen de infiltración que se genera hacia el acuífero en estudio, se determinó el volumen de escurrimientos superficiales que aportan las cuencas adyacentes a la cuenca que encierra dicho acuífero. Inicialmente se calcularon los volúmenes de infiltración en cada cuenca, mediante la ecuación de balance hidrológico.

$$V_e = V_p + V_s$$

Donde:

V_e , es el volumen de entrada, compuesto por la precipitación total en el área (V_i) y la aportación de escurrimientos superficiales que se comunican con la cuenca y que contribuyen a tener una mayor volumen de recarga (V_a)

V_p , es el volumen de pérdidas originado por la evapotranspiración (V_{etr}) y la infiltración (V_{inf})

V_s , es el volumen de excedencias o de escurrimiento

Para el caso particular del presente trabajo, no se tienen volúmenes de aportación (V_a) en las cuencas estudiadas, debido a que se toma el análisis completo de cada una de ellas, sin entradas de escurrimientos superficiales. Al sustituir la precipitación, infiltración y la evapotranspiración la ecuación queda:

$$V_i = V_{etr} + V_{inf} + V_s$$

Despejando la infiltración, la cual se quiere conocer

$$V_{inf} = V_i - V_s - V_{etr}$$

Al sustituir los valores de los volúmenes de evapotranspiración, precipitación y de escurrimiento para cada cuenca se tiene:

No. y nombre de cueca	Volumen de precipitación (V_p) Mill m ³	Volumen de evapotranspiración (V_{etr}) Mill m ³	Volumen de escurrimiento (V_i) Mill m ³	Volumen de infiltración (V_{inf}) Mill m ³
1. - Paredón e Icamole	36.047	34.244	0.594	1.209
2. - Chupadero del Indio	28.241	26.829	0.711	0.701
3. - Carrizos	16.933	16.086	0.277	0.570
4. - Saltillo-Paredón	3349.704	3246.942	28.794	73.968

Tabla N° 13. Valores de volúmenes de infiltración y escurrimiento en cada cuenca

Con los valores anteriores, se determinó el volumen de recarga por medio de la infiltración, hacia el acuífero localizado en la cuenca de Paredón-Icamole.

Aplicando nuevamente la ecuación de balance hidrológico se tiene:

$$V_e = V_s + V_p$$

Donde :

V_e , es el volumen de entradas, el cual es igual al volumen de escurrimiento que entra a la cuenca, donde se localiza el acuífero en estudio.

V_s , es el volumen de salida, para el caso en cuestión será el volumen de escurrimiento aforado por la estación hidrométrica de Icamole sobre el río Salinas, a la salida de la cuenca.

V_p , es el volumen de pérdidas, el cual equivale al volumen de infiltración (V_{inf}), debido a que el generado por la evapotranspiración ya está considerado en el análisis del escurrimiento superficial anterior.

El volumen de escurrimiento que aporta cada cuenca en millones de m^3 es:

CUENCA	APORTE
Chupadero del Indio	0.711
Carrizos	0.277
Saltillo-Paredón	28.794
Paredón e Icamole (aporte propio)	<u>0.594</u>
	suma (V_e) = 30.376

El volumen de escurrimiento medio anual aforado sobre el río Salinas en millones de m^3 es:

$$(V_s) = 22.447$$

Despejando (V_{inf}) y sustituyendo valores en la ecuación se tiene:

$$V_{inf} = V_e - V_s$$

$$V_{inf} = 30.376 - 22.447$$

$$V_{inf} = 7.929$$

A este valor se le sumará el volumen de infiltración de 1.209 mill m³ el cual es generado por la propia cuenca, entonces se tiene:

$$V \text{ total de inf} = 7.929 + 1.209 = 9.138$$

Por lo tanto, el volumen medio anual aproximado de recarga del acuífero por medio de infiltración será de 9.138 millones de m³ (figura N° 10).

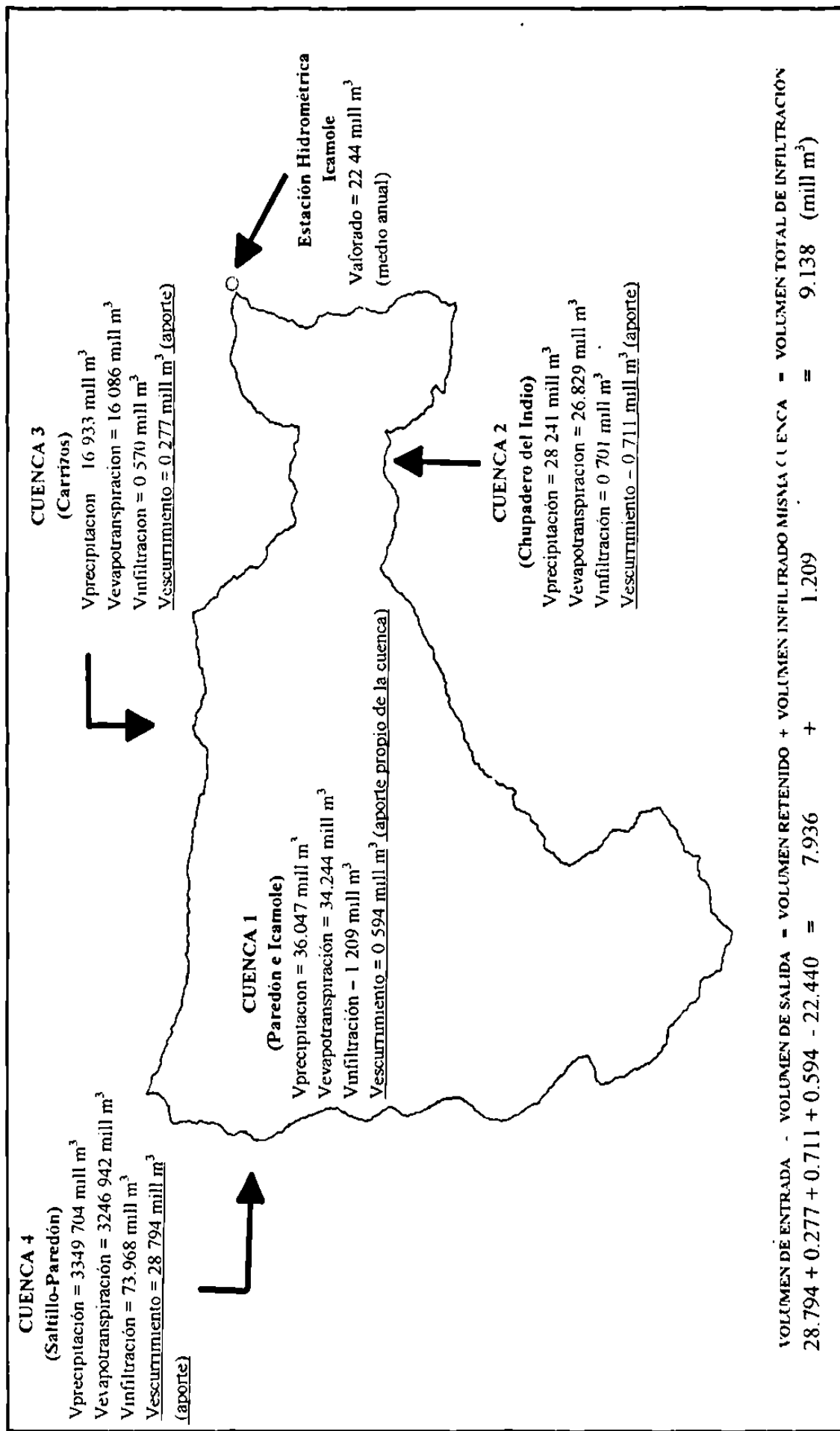


Figura 10. Balance hidrológico en la cuenca de Paredón e Icamole

4. GEOLOGÍA

4.1 Fisiografía

La zona en estudio se localiza dentro de la Provincia Geológica de la Sierra Madre Oriental, formando parte de la subprovincia fisiográfica Cuenca de Parras, la cual se caracteriza por la presencia de sierras y valles con una orientación Este-Oeste. La sierra más importante de esta subprovincia es la de Parras, la cual alcanza una altura de 3000 msnm y se extiende a lo largo de los municipios de Parras de la Fuente, Saltillo y parte de Ramos Arízpe en el estado de Coahuila (INSISA, 1972).

En particular, la Cuenca de Paredón e Icamole presenta una morfología bien definida. Limita al norte con la Sierra el Maneadero, con una altura de 1000 msnm y la Sierra el Colorado, con una altura de 1200 msnm respectivamente; en el lado oriente limita con el Cerro de la Cruz, el cual alcanza una altura de 1200 msnm, en el sur y el poniente limita con la Sierra la Azufrosa, la cual se extiende en forma de arco, definiendo en su mayoría el parte aguas de la cuenca y alcanzando una altura de 1500 msnm (figura N° 11).

El valle que forma la cuenca en estudio, presenta un relieve constituido por lomeríos y suelos con pendiente suave; estos últimos de origen aluvial, producto de la erosión de las lutitas-areniscas que conforman las sierras que limitan la cuenca. Dichos suelos, están formados por depósitos no consolidados de gravas, arenas, limos y arcillas, las cuales presentan diversos espesores según su localización y distribución dentro del valle.

La disponibilidad de agua superficial, en el área de interés, es muy reducida y se limita al escurrimiento del río Patos, el cual recibe las aportaciones de los arroyos: el Coyote, la Mula y el río San Lorenzo; dichos escurrimientos son captados antes de iniciar el drenado de la cuenca, en el lado oeste de la misma (municipio de Ramos Arízpe, Coahuila). Después de un recorrido de 8 km, aproximadamente, dentro de la cuenca, y desde este punto hasta la salida de la misma, el escurrimiento toma el nombre de río Salinas (municipio de García, Nuevo León); teniendo como principal aportación el arroyo Carrizos, por su margen izquierda, dentro de la cuenca.

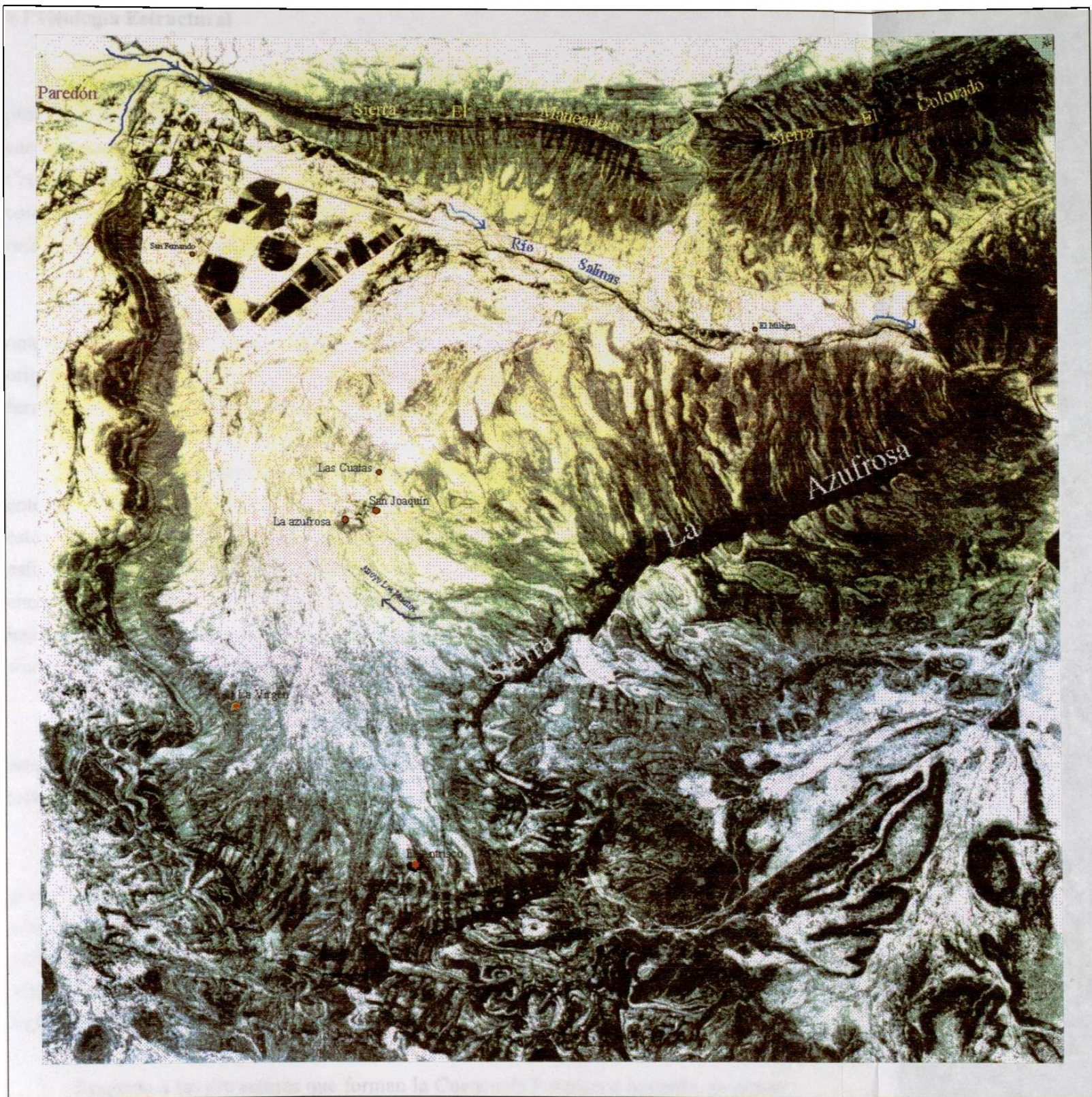


Figura N° 11. Fisiografía de la Cuenca de Paredón-Icamole

4.2 Geología Estructural

Respecto a la geología, el área de estudio se encuentra ubicada dentro de la provincia de la Cuenca de Parras, denominada así porque corresponde a una antigua cuenca marina, que tuvo hundimiento continuo con relleno de sedimentos durante el Cretácico Superior (Gary y Chris, 1995). Esta cuenca se desarrolló al sur de la contemporánea Península de Coahuila, que era un elemento más estable y de la cual recibió los aportes clásticos.

Hacia fines del cretácico se depositó en la antefosa, junto con lodos calcáreos, una enorme cantidad de arena, a la vez que la antefosa se hundía rápidamente, dando así origen a la acumulación de grandes espesores de sedimentos que dieron lugar a las formaciones Parras y Difunta (Gary y Chris, 1995).

Las estructuras actualmente existentes tuvieron su origen en la emersión del entonces fondo marino ocurrida a finales del Cretácico y principios del Terciario. A estos movimientos de la corteza terrestre se les ha llamado Orogenia Laramide. Los esfuerzos compresionales que originaron a la emersión actuaban de sur a norte encontrando una barrera en la Península de Coahuila, de ahí que los plegamientos se hayan desarrollado con una dirección predominantemente este-oeste, al igual que en las sierras transversales de la Sierra Madre Oriental, localizadas al sur (figura N° 12).

Posterior a la etapa de esfuerzos orogénicos compresionales, la región entró en un período de ajuste isostático, lo que motivó el fracturamiento y fallamiento normal al rumbo de las estructuras (Tardy et al., 1975).

En esta forma, el área en estudio se extiende ocupando parte de las unidades geotectónicas de la provincia de la cuenca sedimentaria de Parras, la cual se distribuye entre el frente de los pliegues de la cordillera y plataforma de Coahuila; en su estructura general se caracteriza por encontrarse atravesada de oriente a poniente por una serie de pliegues sinuosos orientados al oeste-noreste, mismos que presentan un flanco norte más inclinado y están generalmente recostados al norte (Gary y Chris, 1995).

Respecto a las estructuras que forman la Cuenca de Paredón e Icamole, se puede apreciar que se dio origen a dicha cuenca mediante el proceso de erosión e intemperismo que atacó el anticlinal que se extendía desde el valle de Paredón hasta el anticlinal El

Fraile, conformando la topografía de las sierras: La Azufrosa, El Maneadero y El Colorado; con una orientación este-oeste y compuesto por las rocas que integran el grupo Difunta. La inclinación de las capas en los flancos de dichas sierras varía de 20° a 30° y, ocasionalmente, son mayores. Las altitudes máximas alcanzadas son de 1200 y 1500 msnm, mientras que las partes bajas alcanzan los 750 msnm (plano N° 5).

4.3 Estratigrafía

Las rocas encontradas en el área son rocas sedimentarias correspondientes a un delta progradante de edad del Cretácico Superior (Rodríguez M., 1996) y consisten en un fuerte espesor de lutitas y areniscas dispuestas en alternancia, con lentes locales de conglomerado y relleno del valle con depósitos aluviales del Cuaternario.

Para la clasificación litológica de la cuenca, se diferenciaron dos sistemas geológicos considerando la etapa del desarrollo evolutivo de las mismas.

SISTEMA CRETÁCICO SUPERIOR

Está compuesto por las estructuras actuales en el área, sierras labradas en las formaciones del grupo Difunta, debido a la erosión y al intemperismo. Dicho grupo se ha diferenciado en una serie de miembros que litológicamente consiste en una secuencia de lutitas y areniscas diferenciando las formaciones por el color al intemperismo, predominancia de lutitas o areniscas (Cerro del Pueblo, Cerro Huerta, Cañón del Tule, Las Imágenes, Cerro Grande, Las Encinas, Rancho Nuevo y El Tanque) y ocasionalmente conglomerados, por lo que se pueden considerar geomorfológicamente como una sola unidad en la que los horizontes arcillosos forman puertos o depresiones debido a que son menos resistentes a la erosión, mientras que las capas de arenisca y conglomerado son horizontes de roca más resistentes que forman salientes de delgado espesor; consecuentemente, el resultado de la erosión es una alternancia de puertos y salientes que se observa desde las partes altas hasta la base de las serranías (Gary y Chris, 1995). Esta alternancia se hace más notable en donde la inclinación de las capas es más pronunciada.

Los espesores registrados para estos miembros varían de los 200 a los 1200 m, dependiendo de la localización en la región (Gary y Chris, 1995). En la tabla N° 14 se

presenta una correlación de la estratigrafía de la zona en estudio, con la que existe regionalmente.

EUROPA		AREA PAREDON	SIERRA DE SAN MARCOS	POTRERO DE LA VIRGEN	SIERRA DE LA MADRE	SIERRA DE SACRAMENTO	SIERRA DE LA PURISIMA	POTRERO DE GUALLOS	SIERRA DE LOS MUERTOS	
CRETACICO SUP.	MAESTRICHTIANO	GPO.						F. ESCONDIDO	F. DIFUNTA	
	CAMPARIANO	DIFUNTA						F. BLUOS	2000m	
	SANTONIANO	LTAS. PARRAS	LTAS. PARRAS					F. SAN MIGUEL	LTAS. PARRAS	
	CONIACIANO	PARRAS	PARRAS					F. UPSON	1370m	
	TURONIANO	GPO. EAGLE FORD	GPO. EAGLE FORD			GPO. EAGLE FORD	GPO. EAGLE FORD	GPO. EAGLE FORD	FORM. INDIDURA	
CRETACICO INF.	CENOMANIANO	GPO. WASHITA	GPO. WASHITA	GPO. WASHITA	GPO. WASHITA	GPO. WASHITA	GPO. WASHITA	GPO. WASHITA	FORM. CUESTA DEL CURA	
	SUPERIOR	WASHITA	WASHITA 300 m	WASHITA 278 m	WASHITA	WASHITA	WASHITA	WASHITA 240 m	140 m	
	ALBIANO	MEDIO	FORM. AURORA	FORM. AURORA	FORM. AURORA	FORM. AURORA	FORM. AURORA	FORM. AURORA	FORM. AURORA	FORM. AURORA
		INFERIOR	AURORA	FORM. AURORA FORM. ACATITA 300-500 m	FORM. AURORA 650 m	FORM. AURORA	FORM. AURORA	FORM. AURORA	FORM. AURORA	FORM. AURORA 450 m
	SARASIANO	FORM. LA PEÑA	FORM. LA PEÑA	FORM. LA PEÑA	FORM. LA PEÑA	FORM. LA PEÑA	FORM. LA PEÑA	FORM. LA PEÑA	FORM. LA PEÑA	
	BECCULIANO	FORM. CUPIDO	FORM. CUPIDO	FORM. CUPIDO	FORM. CUPIDO	FORM. CUPIDO	FORM. CUPIDO	FORM. CUPIDO	FORM. CUPIDO	
	MECOMIANO	SARASIANO			F. LA VIRGEN					
		MAUTENIANO		ARK.						
		VILLANOVIANO		SAN MARCOS						
BERMASIANO			600±m							
JURASICO SUP.	PORTLANCIANO		GPO. LA CASITA	GPO. LA CASITA						
	KIMMERIDCIANO		255 m							
	OXFORDIANO	ARBOVIANO		GPO. ZULOAGA						
		DIVESIANO		400 m						
		CALLOVIANO								

Tabla N° 14. Correlación estratigráfica del área de estudio con la existente a escala regional (tabla tomada del estudio de CASSA, 1981)

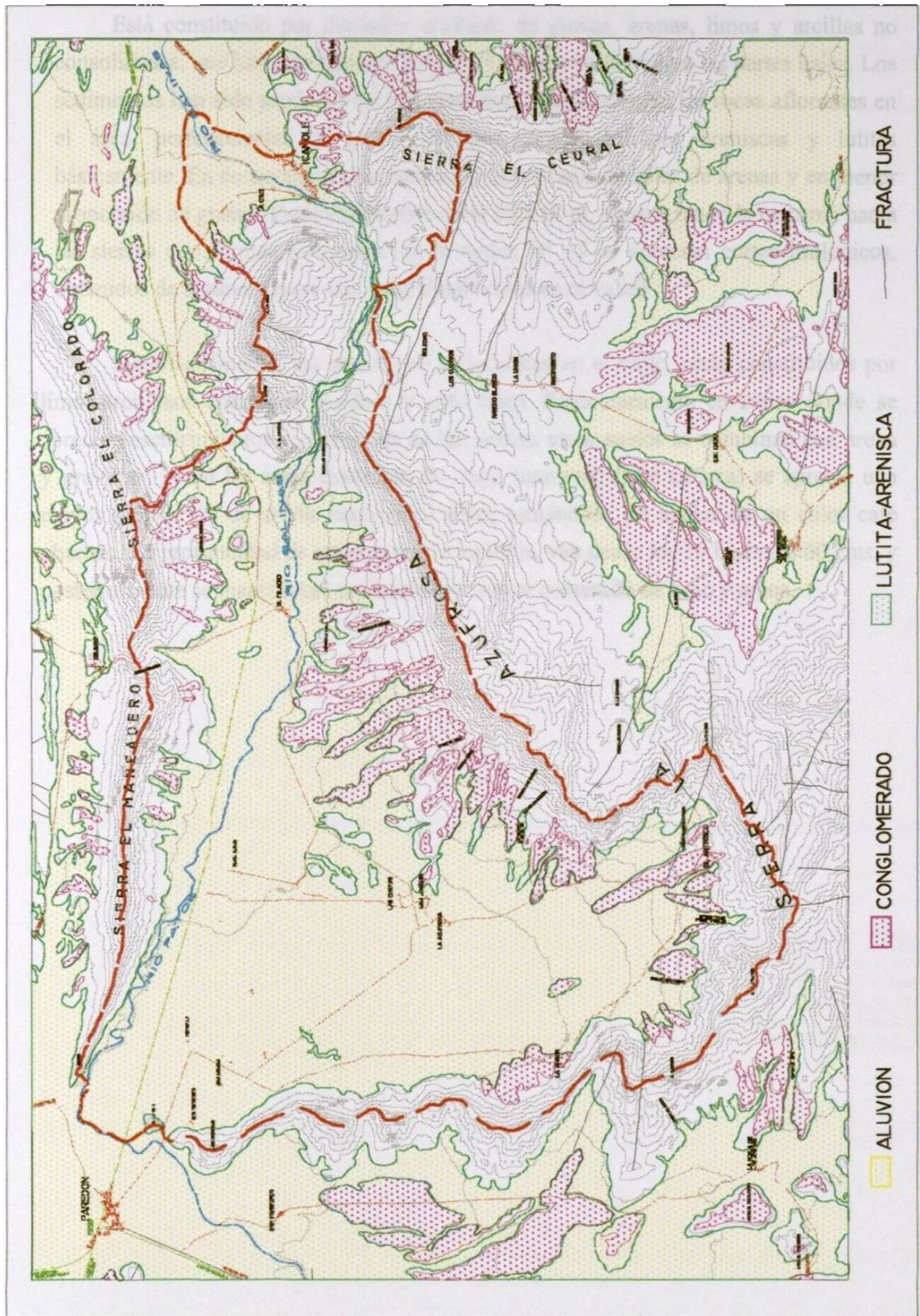


Figura No. 12. Geología regional del área de estudio

SISTEMA CUATERNARIO

Está constituido por depósitos clásticos de gravas, arenas, limos y arcillas no consolidadas, que han sido depositados por el transporte fluvial en las partes bajas. Los sedimentos han sido producto del intemperismo y la erosión de las rocas aflorantes en el área, pertenecientes al grupo Difunta, constituidas por areniscas y lutitas básicamente. En consecuencia, se tienen espesores considerables de arenas y en menor proporción de gravas. Estos espesores van de 20 a 60 m, considerando la cercanía hacia las sierras que forman la cuenca (en la figura N° 13 se aprecian cortes litológicos, obtenidos de algunos pozos que están distribuidos en el valle).

Superficialmente, los suelos que se localizan en el valle, están constituidos por limos-arcillosos color café verdoso y café claro. Particularmente en zonas donde se aprecian escurrimientos provenientes de las sierras, estos suelos se combinan con arena y gravillas; y en las áreas existentes de riego (noroeste de la cuenca) se aprecia una mayor proporción de arcilla respecto al limo, tornándose los suelos de un color café oscuro. La profundidad de estos suelos es variable, van desde los 10 hasta los 60 cms, y posteriormente se manifiestan espesores con mayor contenido de limo y arena.

**POZO DE OBSERVACIÓN
(DEL APROVECHAMIENTO No. 2)**

APROVECHAMIENTO No. 2

